

AE周波数解析による材料の微視破壊過程の破壊力学的評価に関する研究

著者	鄭 熙 敦
号	1061
発行年	1986
URL	http://hdl.handle.net/10097/9797

氏 名	Jeong 鄭	Hee 熙	Don 敦
授 与 学 位	工 学 博 士		
学位授与年月日	昭和 62 年 3 月 25 日		
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項		
研究科，専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 機械工学第二専攻		
学 位 論 文 題 目	AE 周波数解析による材料の微視破壊過程の破壊力学的評価に関する研究		
指 導 教 官	東北大学教授 高橋 秀明		
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 高橋 秀明	東北大学教授 前川 一郎	
	東北大学教授 阿部 博之	東北大学教授 中鉢 憲賢	

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 緒 論

この30年の間，超音波技術の発展に伴って非破壊検査，材料評価など多くの側面から Acoustic Emission (AE) の本質と応用への研究が活発に成されてきた。さらに，その対象材料も金属材料だけではなくコンクリート，セラミック，FRP そのほかの複合材料などの非金属材料まで広く及んでいる。ここで，AE 研究の最終的目標としては，次の二つに大別することができる。すなわち，

1) 構造物の安全性と健全性評価のための一つの非破壊検査法として，原子力発電所を中心とした圧力容器などの巨大構造物の監視と構造部材の疲労割れ，溶接割れ，応力腐食割れなどによるき裂の発生とその進行状況の探知，さらに事故防止のための AE の適用

2) 材料評価及び品質管理とともに，新材料開発への AE の応用
である。このような安全性と材料評価という二つの目的を達成するため行われた実験的研究対象は，次の3つで要約できる。すなわち，

- ① 欠陥の存在の有無の評価
- ② 欠陥の位置標定
- ③ 欠陥の性質の評価

である。ここで，①と②に関してはある程度成果が現れているが，③についての積極的な研究は少なく，未だ不明な点が多い。これは今後 AE 研究上解決しなければならない最大の課題であり，難

点でもある。ここで、欠陥の性質すなわち、どのような過程を通して欠陥が生じたか、あるいはその欠陥が巨視的なき裂進展にいかに関与するかについて理解することはより正確な安全性評価と材料評価上極めて重要なものである。現在、この問題の解決のために挙げられている一つの方法は、破壊靱性試験中放出された AE 信号の適切な処理によって異なる事象毎に AE イベントを分類し、各 AE イベントの発生要因を明らかにすることである。ここで AE の発生源評価において注目されているデータ処理法としては周波数解析による方法があり、さらに、この周波数解析による方法は AE 計測の難点である AE 信号とほかの雑音との分離が可能であり、かつ有害な AE 信号とそうでない AE との区別ができることも大きな長点となっている。

以上の観点に立って本研究は構造安全性評価と材料評価への AE 周波数解析の応用のための基礎研究として実施したものであり、次の内容が含まれている。

- ① AE イベントの周波数解析に基づく分類方法の定量化
- ② AE 周波数特性に基づいた使用環境と構造部材の長時間使用による材質劣化にともなう微視破壊過程の変化の評価
- ③ AE による微視破壊過程のオンライン評価

第 2 章 AE 計測システムと AE 信号の周波数解析について

本章では本研究で用いた AE 計測システムを紹介し、また周波数特性に注目した AE 信号の定量的な分類のための一つの手段として、AE 周波数エネルギー密度分布比 (EDDR) を用いた AE 信号の分類方法について述べた。

第 3 章 材料の微視破壊機構の変化と AE 放出特性

本章では、機械構造部材の健全性および安全性確立のための基礎研究として、経年劣化による材質の変化と微視破壊機構の変化を評価するために、時効析出硬化材料である Cu-Be-Co 合金とタービンロータ材である Cr-Mo-V 鋼に対して、時効と焼き戻し脆化による材料の破壊靱性値の変化について明らかにし、破面観察と AE 周波数解析を通して本材料の微視破壊機構と時効によるその変化を調べた結果次のようなことが分かった。

① 300℃ また 420℃ の時効材の破壊靱性試験中放出されたすべての AE 信号の特徴的な周波数成分は可聴域周波数成分と 210 kHz 付近、そして 450 と 600 kHz 付近であり、この特徴的な周波数成分に注目して 6 種類に大別できた。また、この 6 種類の AE はポップイン形巨視き裂進展に対応するもの、材料中の晶出物を核とするボイド形成によるもの、あるいは時効過程に依存する析出相と晶出物を起点とするボイド形成によるものなど、微視破壊過程によく対応しており、これらの結果に基づきき裂先端の破壊機構と AE 発生源モデルを提案した。

② Cr-Mo-V 鋼の脱脆化材の破壊靱性試験中放出された AE 信号はボイドの形成とそれらの合体による延性破壊機構と対応しており、脆化材の場合小さい面積の粒界破面と大きい粒界ポップインき裂進展が AE 信号の発生源となっている。

第4章 水素ガス環境下における低合金鋼の割れ挙動とAE特性

本章では、原子炉圧力容器環境下で水素脆化がき裂進展を支配する一つの因子として作用する可能性があることから、これが材質の変化、割れ機構にどのような影響を与えるかについて述べている。ここでは常温常圧の高純度水素ガス環境下におけるき裂材低ひずみ速度引張試験(SSRT)法を用いて低合金鋼の水素割れ挙動とAE放出特性を破壊力学的観点から検討し、以下の結果を得た。すなわち、本実験条件下において、全供試材のき裂は擬へき開割れによって初生、進展するが、J値が材料固有の破壊靱性値(J_{Ic})に達すると、SA 533 B鋼の場合は、擬へき開と延性破面の混在破面へ、またHT-80鋼は大気中と同じディンプル破面へ遷移することが分かった。また、大気中と水素ガス環境下で放出したすべてのAE信号から観察された特徴的な周波数成分は50 kHz以下、120 kHz、250 kHzそして300 kHz付近であった。この周波数成分を注目して計算したEDDR値からすべてのAE信号は5種類で分類できた。大気中のAE信号は各々ボイドの形成とそれらの合体、ボイドの形成と合体の同時発生、また主き裂進展と対応している。さらにSA 533 B鋼の場合、水素割れ過程において放出されたAE信号は水素によって局部的に脆化された部分の微視的な破壊、擬へき開破面の初生および延性破面の進展と対応しており、AEによって破面の遷移現象検知に有効であることが分かった。

第5章 AEによる発泡軽量コンクリートの微視破壊過程の評価

本章では、発泡軽量コンクリート(AAC)の凍害の理解のため、水と温度が材質に及ぼす影響について、またき裂進展挙動に及ぼす補強材の影響について破壊力学的手法を用いて調べた。一方、AE周波数解析によって様々な試験条件下の微視破壊機構について考察した結果、次の知見を得た。すなわち、代表的な実験条件から検出されたすべてのAE信号は可聴域成分を含まず、100–200 kHz、250 kHzそして350 kHzであり、EDDR計算結果から6種類に分類することができた。この6種類のAE信号の発生源は各々マトリックス内のマイクロき裂の生成、マトリックスの間の摩擦、主き裂進展、氷の破壊とこれにともなう主き裂進展そして補強材の破壊に対応しており、この結果から異なる環境下での微視破壊機構を説明することができた。

第6章 発泡軽量コンクリートの乾燥収縮および凍害割れとAE発生について

本章では、AAC材の乾燥収縮による材質の変化をAE信号の放出特性と破壊力学的手法を用いて定量的に評価した。すなわち、AAC材とRAAC材ともに乾燥過程中、含水率60–40 wt %の範囲で高い活性度のAE信号が放出しているが、この発生源は材料表面と相互作用が強いCapillary Pore内の水が脱離する時の引張応力によるマトリックスの微視割れと予想され、さらに、この微視割れの生成には可逆性が存在していることが分かった。また、AAC材の凍害および凍結融解過程のなかには乾燥収縮割れが存在しており、凍害を考える時乾燥収縮割れ特性を考慮すべきであること述べた。

第7章 AE周波数分析による材料の微視破壊過程のオンライン評価について

本章では3章から5章までの各々の材料においての周波数特性と、いままで行われてきた研究の結果に基づいてAE信号の分類について考察した。これから金属材料において、材料およびセンサの特性に関係なく、延性ポップインあるいは粒界ポップインのような急激な主き裂進展には可聴域成分を含んだ大きいエネルギーの低周波数のAE信号が対応しており、また延性破壊機構においての塑性変形に相当するAE信号は全般的に低いエネルギーの100–200 kHz, 200–300 kHz 付近の周波数成分が卓越であることが分かった。複合材料の場合、AE信号は100–200 kHz, 300–400 kHz 付近の成分が卓越であることが分かった。このような特徴的な周波数成分に注目して計算したEDDR値からAE信号の分類の自動化が可能になった。以上の結果に基づいて延性破壊のオンライン評価のためのフローチャート(図1)を提案した。

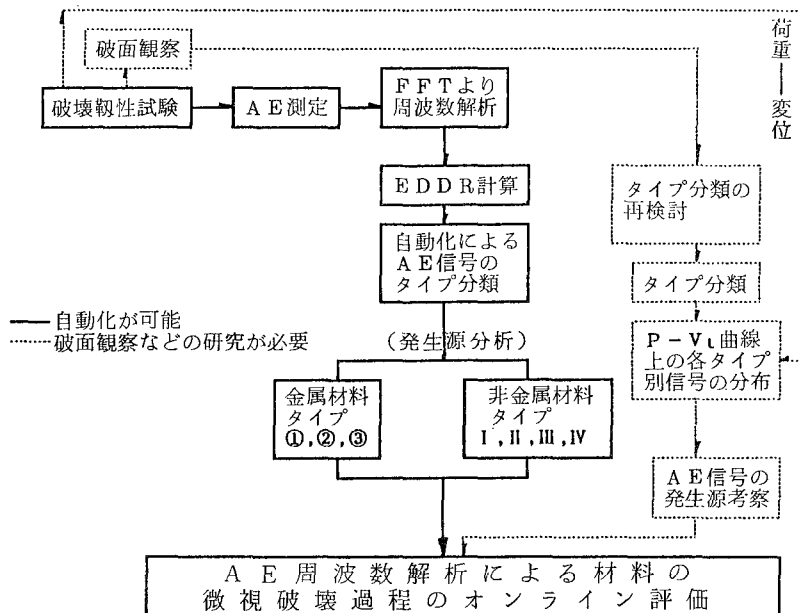


図1 延性破壊機構のオンライン評価のためのフローチャート

第8章は結論である。

審 査 結 果 の 要 旨

最近の構造物の非破壊検査あるいは新材料開発における品質評価へのアコースティック・エミッション(AE)法の応用が注目を集めている。破壊にともない検出されるAE信号については、そのエネルギーや周波数、あるいは全発生個数、発生率など種々の信号処理がその目的に応じて採用されている。本論文は最近開発されたAE自動周波数解析装置を利用して、金属材料や複合材料の破壊靱性試験で得られるAEをいくつかのタイプに分類し、AEによる微視破壊過程のオンライン評価法の開発を目的としたもので全編8章よりなる。

第1章は序論である。

第2章では、AE自動周波数解析装置の概要と、本論文で採用したAE周波数エネルギー密度分布比を用いたAE信号の分類法について述べている。

第3章は大型タービン・発電機部材の中で材質の経年劣化が危惧されているクロム・モリブデン・バナジウム鋼及び銅ベリリウム合金の微視破壊過程を明らかにし、AEの特定の周波数に注目することにより、その微視破壊過程を識別できることを明らかにしている。これは単にAEに関する新知見としてだけでなく、材料劣化評価基準としても極めて重要である。

第4章では高圧容器用低合金鋼の水素割れ感受性をAEを用いて解析した結果について述べている。鋼材中のMnS介在物と水素ガスとの相互作用など、水素割れのマイクロメカニズムについても言及しており注目に値する。

第5章では軽量発泡コンクリートの低温破壊挙動をAE周波数解析により解明している。このコンクリート材料の脆性を改善するために開発された繊維強化軽量コンクリートについても同様の解析法を応用することにより、繊維の補強効果などについてこれまでにない新しい知見が得られている。

第6章は第5章と同じ軽量発泡コンクリートの乾燥収縮割れに及ぼす水分の影響をAEを用いて解明した結果について述べている。

第7章は第3章から6章までとり上げた各種材料について得られたAEのタイプ分類と微視破壊の対応づけにもとづき、材料評価あるいは製品検査にAEを応用するためのAEタイプ分けの自動化ならびに評価基準について述べている。

第8章は結論である。

以上要するに本論文は、種々の材料の破壊靱性試験で得られるAE周波数解析結果にもとづきその破壊機構を明らかにし、AEを応用したこれまでにない高精度の材料評価技術を開発したもので、機械工学の発展に寄与するところ少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。